

小型水路実験に基づく河川堤防の耐越流侵食性に及ぼす細粒分の影響

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻
(株)日水コン
東京理科大学理工学部土木工学科

学生員○森田 麻友
正会員 倉上 由貴
正会員 二瓶 泰雄

1. 序論

2013 年は、50 年に一度の大雨に対する特別大雨洪水警報やそれ相当の豪雨が全国各地で 5 回も発生し、大きな水害に見舞われた。特に、同年 7 月 28 日に発生した山口・島根豪雨災害では、山口県内の阿武川や田万川、須佐川等において超過洪水が発生し、土堤のみならず三面コンクリート張りの堤防も越流決壊した。そもそも河川堤防の設計では、計画高水位を上回る超過洪水の越流侵食は設計外力に反映されていないため¹⁾、上記の決壊は生じるものと考えられる一方、全ての堤防が洗い流されるわけではなく決壊を免れた堤防も多く存在し、現行の河川堤防でも耐越流侵食性を備えた要素があるものと推察される。その一つとして、堤体材料の細粒分の役割が挙げられる。一般に、堤体材料に 20～30%の細粒分を含むことが推奨され、これは堤体の透水係数を下げる「耐浸透対策」となる。この細粒分の混合は、移動限界せん断力を増加させるなど耐越流侵食性の向上にも寄与すると思われるが、土堤や様々な補強形式の堤防の耐越流侵食性に対する細粒分の効果はほとんど未解明である。本研究では、小型開水路を用いて堤体材料の細粒分条件を変化させた堤防の越流実験を行い、堤防の耐越流侵食性に対する細粒分の影響を明らかにする。ここでは、土堤や、三面を被覆工でカバーされたアーマ・レビー（従来形式）、被覆工と堤体内のジオグリッドを結合した GRS 河川堤防（新形式）²⁾ を実験対象とする（GRS：Geosynthetic-Reinforced Soil）

2. 研究方法

(1) **実験水路**：水平小型開水路（全長 5.0m、幅 0.2m）を用いて越流侵食実験を行った（図 1）。本水路のある実験室には地下にタンクを設置し、それを介して複数の水路で水を循環しているため、細粒分を含む堤体が侵食・流出すると、濁水の影響が他の実験にも残る。そこで細粒分を含む堤体の実験時のみ、下流タンクに汚水用ポンプ（ponstar PX-550（株）工進製）を設置し、適宜排水して木製水槽（1458L）に濁水を貯める。

(2) **実験条件**：堤体形状としては、高さ 20cm、天端幅 10cm、表・裏のり面勾配を 2 割（1:2）とし、この堤体を基礎地盤（高さ 5cm）の上に設置した（図 2）。実験条件としては、表 1 に示すように、堤体材料のうち 0.075mm 以下の細粒分含有率 F_c を 0%（砂のみ）、20%、30%とした。この際、砂には豊浦砂か硅砂 6 号、細粒分としては藤の森粘土をそれぞれ用いた。また、補強条件としては、無し（土堤）、従来形式、新形式とし、新形式堤防は倉上ら²⁾と同じである。越流条件は、流量 $5.61 \times 10^{-3} [\text{m}^3/\text{s}]$ を基本とするが、土堤の $F_c=20\%$ ケースのみ流量を $3.21 \times 10^{-3} [\text{m}^3/\text{s}]$ とした。

(3) **被覆工と堤体間の摩擦力計測**：従来・新形式堤防で用いられる被覆工がどの程度堤体上に存在するかを調べるために、被覆工と堤体間の摩擦力を計測した。ここでは引張試験器（ZP-500N、イマダ（株）製）を被覆工に繋いで引張り、被覆工が動き出した時の引張力を最大静止摩擦力とした。

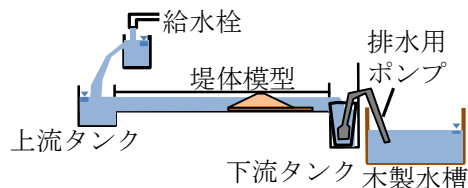


図 1 水平開水路の概略

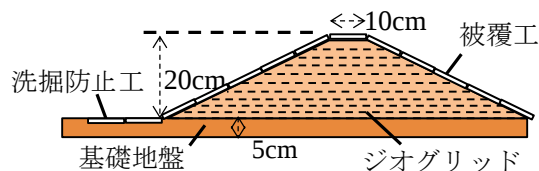


図 2 模型堤防（新形式の場合）

表 1 実験条件

分類	細粒分 含有率[%]	締固め度 [%]	補強条件
土堤	0	85	無し
	20	87	
	30	85	
従来 形式	0	85	パネルのみ
	20	87	
新 形式	0	85	パネル+ジ オグリッド
	20	87	

キーワード：堤防，越流，細粒分，模型実験，ジオグリッド

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL：04-7124-1501（内線 4069）FAX：04-7123-9766

3. 実験結果と考察

(1) 土堤の越流侵食特性：堤防の耐越流侵食性に対する細粒分の影響を明らかにするため、3つの細粒分含有率条件における土堤の越流侵食形状を図3に示す。これより、 $F_c=0\%$ （砂のみ）では、越流開始直後から裏のり面全体や背後の基礎地盤全体が侵食され、概ね裏のり面と平行に侵食されている。一方で、 $F_c=20\%$ の場合でも裏のり面側から侵食が始まるが、侵食量や侵食速度は $F_c=0\%$ の時よりも小さい。また、裏のり面での侵食面は裏のり面と平行とはならず切り立っており、粘性土の河岸侵食形状と類似している。さらに $F_c=30\%$ の場合には、裏のり面での侵食が極端に少なくなっており、越流開始100s後でも初期形状を概ね保っている。このような侵食状況を詳細に把握するために、堤体の面積残存率（=時々刻々の堤体面積／初期断面積）の時間変化を図4に示す。このように、細粒分含有率が大きくなると面積残存率の傾きは緩やかになっており、侵食されにくくなっている。これは、細粒分の割合が増加すると、堤体への浸透能が低下するとともに、単一粒径の場合と比べて砂の移動限界掃流力が増加するためである。

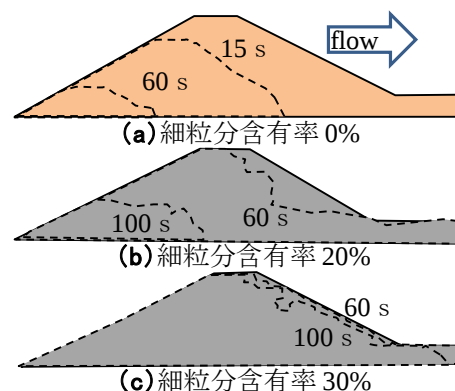


図3 土堤の越流侵食形状

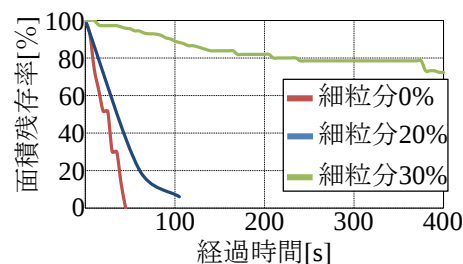


図4 土堤での堤体面積残存率

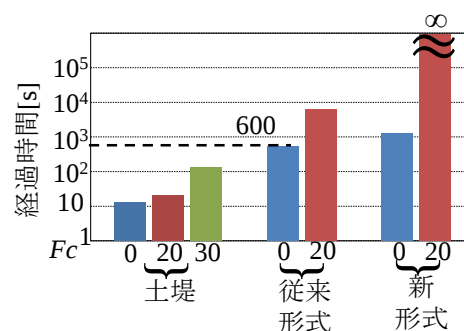


図5 従来・新形式での堤体欠損時間

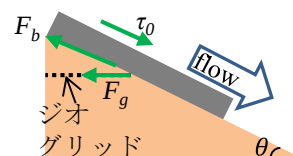


図6 堤体（新形式）に作用する力

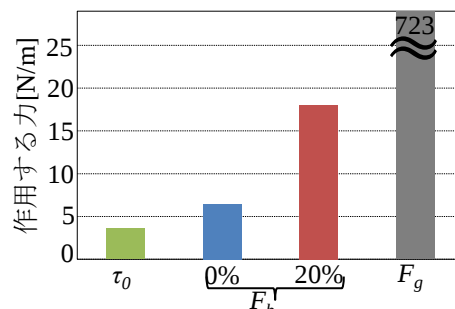


図7 被覆工に作用する力（流下方向）

(2) 従来・新形式堤防補強策としての細粒分の効果：細粒分の違いが、従来・新形式堤防の耐越流侵食性に及ぼす影響を明らかにするために、表1に示す7ケースにおける堤防欠損時間をまとめたものを図5に示す。この堤防欠損時間とは、面積残存率が85%となったときの時間である。これより、土堤では前述のように細粒分と共に破堤時間が漸増している一方、従来形式堤防では $F_c=20\%$ の結果は $F_c=0\%$ よりも1オーダー増えた。さらに新形式堤防では、 $F_c=20\%$ のとき、越流開始から2時間を超えてもほとんど侵食されず（面積残存率99%）、破堤に至らず表中には ∞ と示す。このように堤体材料に細粒分を増やすと従来・新形式堤防の耐越流侵食性が飛躍的に向上することが明らかとなった。

(3) 被覆工に作用する力の算定：このような細粒分が被覆工に及ぼす影響を検討するために、被覆工に作用する力学バランスを調べる。ここでは、図6のように、裏のり面上（傾き θ ）の被覆工に対して、重力、流体力（底面せん断力）、被覆工と堤体間の摩擦力、ジオグリッドによる引張力を考える。本実験時における力を単位奥行き幅あたりに換算したものを図7に示す。ここでは、 $F_c=0, 20\%$ における摩擦力に必要な摩擦係数に関しては、本研究の摩擦力計測結果より与える。これより、 $F_c=20\%$ の摩擦力は、 0% のケースの約3倍となり、細粒分混合による粘着性の増加が被覆工との摩擦力を増やし、結果として被覆工流出抑制に大きく寄与していることが示唆された。また、ジオグリッドの引張力は摩擦力よりも2オーダーも大きくなっており、これが、新形式堤防の越流侵食抑制効果の一員となっていることが明らかとなった。

参考文献：1) (社)日本河川協会編：改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説 設計編[I]，pp.3-30，1997。

2) 倉上由貴ら：耐越流侵食・性向上のための河川堤防補強技術の提案，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.57，No.4，I_1219-I_1224，2013。